

# 鋼曲線橋の設計と施工

## —函館新外環状道路 函館IC Fランプ橋—

函館開発建設部 函館事務所 第2工務課

○小野寺 巧  
気田 堅実  
児玉 浩文

函館新外環状道路の函館ICに位置するFランプ橋は、橋長約400mの9径間連続非合成鋼曲線箱桁橋である。本橋梁はランプ橋のため幅員が6.0mと狭小にも関わらず最小150mの曲線を有する橋梁であることから、発生する上揚力を如何に抑制するかや、温度変化による影響を踏まえ施工時の品質を如何に確保するか等の課題が当初から想定された。本発表はこれらの課題解決のために本橋梁で実施した設計・施工段階における取組みを報告するものである。

キーワード：基礎技術、設計手法、施工管理

### 1. はじめに

函館新外環状道路は、北海道縦貫自動車道と接続する函館新道および函館江差自動車道に連結し、函館空港や重要港湾の函館港とのアクセス機能の強化を図り、広域交通ネットワークの形成、並びに環状機能の強化による函館市内の渋滞解消を目的とした延長15.0kmの自動車専用道路である。



図-1 橋梁位置図

今回報告するFランプ橋は函館IC部に計画されている跨道橋であり、函館新外環状道路より既に供用しているAランプ橋の桁下をくぐり、函館新道、函館江差自動車道を跨ぎ、函館新道に接続する橋長402mの曲線箱桁橋である。本論文では本橋で実際に取り組んだ多径間鋼曲線ランプ橋ならではの設計段階や施工段階における課題とその対応について報告するものである。



図-2 完成イメージ

### 2. 橋梁概要

#### (1) 橋梁諸元

橋長	402.1m
幅員	6.00~7.20m
上部工形式	鋼9径間連続非合成曲線箱桁橋
曲線半径	$R=150\sim 230\text{m}$
斜角	$\theta=90^\circ$
縦断勾配	4.0%
下部工	A1・A2 逆T式橋台 P1~P8 梁柱式橋脚
基礎工	A1・A2 場所打ち杭φ1200 P1~P8 場所打ち杭φ1200

#### (2) 工事計画

平成21年度	基礎工、下部工
平成23年度	基礎工、下部工
平成24年度	上部製作工、輸送工、架設工
平成25年度(予定)	床版工、現場塗装工、付属物工
平成26年度(予定)	舗装工

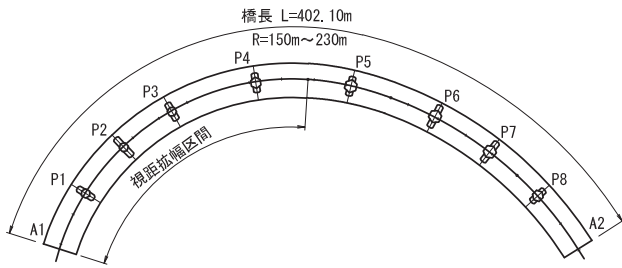


図-3 平面図

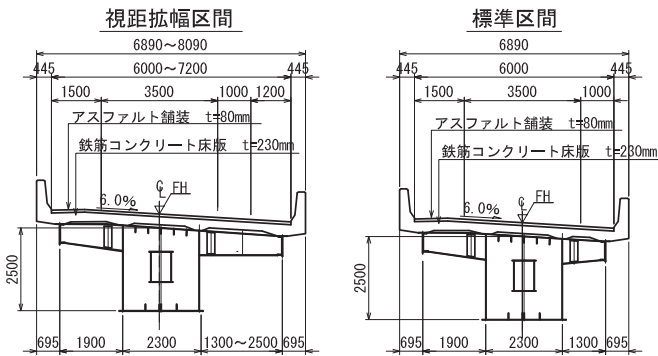


図-4 断面図

### 3. 設計時の課題とその対応

#### (1) 上部構造設計上の課題

函館 IC Fランプ橋は適用支間長、曲線桁への適応性、建設済みであるAランプ橋との構造的統一性を理由に、上部工形式として連続曲線箱桁を採用することとしていた。しかし本橋は、連続桁長が400mにも及ぶ9径間連続桁であることに加え、曲率半径が小さいことから、構造成立において以下の課題を有していた。

- 超長大橋の多径間連続桁であるため、温度変化時の伸縮量大きい。
  - 曲線桁であるため、各移動方向（地震時、温度変化時、桁回転方向）が一致しない。
  - 曲率の小さい曲線桁であるため、左右の反力バランスが悪く地震時に上揚力が卓越しやすい。
- a)、b)の課題に対しては全方向に移動可能で、かつ9径間連続形式が成立可能な程度に変位量を抑制できる免震支承を用いることで対応可能と判断できた。一方、免震支承を用いた免震橋を採用するためには、支承に負反力が生じることは許容できない。そこで、c)の課題である左右の反力バランスの悪さによる負反力の発生を如何に抑制するかが、Fランプ橋を成立させる上でのポイントとなった。

#### (2) 地震時上揚力の卓越に関する検討

Fランプ橋で生じる上揚力は、橋軸直角方向（支点法線方向）に地震時水平力が生じた際に卓越し、その発生

には以下に示す3つの要因が複合していた。

- 曲率半径が  $R=150\text{m}$  と小さく、曲線外側支点への反力の偏りが大きい。
- 橋梁起点側は視距拡幅区間であるため、幅員拡幅側である曲線内側に反力が偏っている。
- 構造上、最適となる箱断面形状（箱幅 2.3m）に支承を配置した場合、支点間隔が狭い。

要因 a)、b)については、幅員内における主桁配置を調整することで、反力の偏りに対する改善を図った。これにより、ある程度反力バランスを改善することはできたが、主桁の位置調整には限界があり、この方策のみで地震時にける負反力の発生を解消するには至らない。そこで、要因 c)における支点間隔の狭さを解消するため、上揚力が発生しない位置まで支点間隔を広げることとした。上揚力の発生しない支点間隔は、4m~6m程度であったがこの支点間隔を確保するために主桁箱幅を広げるのは合理性に欠けるため、支点部を横梁張り出し構造とすることで必要な支点間隔を確保した（図-5）。これによって、上揚力の発生は解消でき免震支承の採用が可能となり、9径間連続曲線桁の成立性が確保できた。一方、支点反力の偏りは依然として有していることから、それによる支承規模の増加や支点部横梁長と橋脚張出長の増加が懸念された。そこで、一層の合理化を図るために、さらに左右の支点反力のバランス改善を行うこととした。

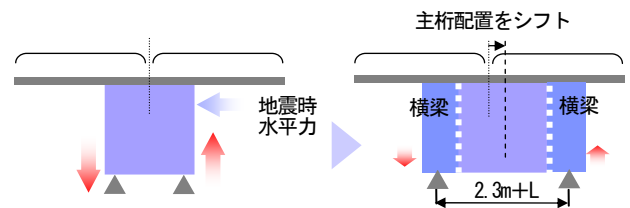


図-5 張出しの概要図



図-6 支点部CG

#### (3) 構造合理化にむけた反力バランスの検討

左右の反力バランスに偏りが生じている場合、以下のようなデメリットが生じる。

- 支承規模の増加
- 支点部横梁長の増加とそれに伴う橋脚張出し長の増加  
一般に、同一支承線上の支承形状は1種類とするのが望ましい。そのため、一方の支点反力が大きければそれにより形状決定することとなるため、左右の反力バランスが均等である場合に比べ支承規模が増加することとな

る。また、反力バランスが悪いほど上揚力を生じさせないために必要な支点間隔が広がるため、横梁および橋脚張り出しの必要長が長くなる。一方で、前述の主桁配置の調整による反力バランスの改善には限界があった。そこで、支点部から左右に張り出した横梁長を支点ごとに個別に調整し、さらなる反力バランスの改善を図ることとした。その結果、曲率半径 150m の曲線桁でありながら、死荷重状態での左右の支点反力をほぼ 50:50 とすることができ、支承設計の合理化と張出し構造の最小化を図ることができた。特にFランプ橋は視距拡幅の影響により、起点側と終点側とで反力の偏りが逆の傾向を示していたことから、各支点で個別に調整する効果は大きく、いずれの支点においてもこうした設計上の合理化を図ることができた。

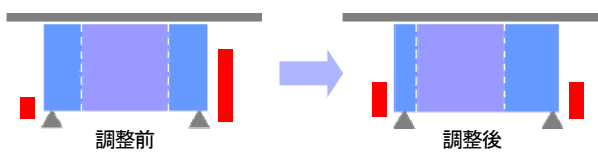


図-7 左右横梁張出長の調整概要図

表-1 横梁長の調整前後における反力一覧表

		P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-8	P-9
横梁 調整前	外側	1763.7	1295.6	1857.0	2258.0	2423.9	2138.1	1658.6	2080.2
	内側	2244.0	1748.0	2503.9	3325.4	2844.9	1899.6	1412.1	1841.5
横梁 調整後	外側	2043.7	1507.9	2161.4	2777.7	2669.2	1951.5	1518.4	1899.4
	内側	1964.0	1535.8	2199.6	2805.6	2599.6	2086.1	1552.3	2022.3

#### 4. 施工時の課題とその対応

##### (1) 上部工製作と施工上の課題

本橋は、連続桁長が400mにも及ぶ9径間連続桁であることに加え、曲率半径が小さく且つ現道交通量の多い箇所位置していることから、桁製作および現地架設において以下の課題を有していた。

- 複雑に変化するねじれキャンバーを部材製作時に如何に反映させるか。
- 現道交通への影響を如何に最小限に抑えるか。
- 現地施工において複雑な線形の出来形精度を如何に確保するか。

##### (2) 工場製作における形状精度管理

曲線箱桁橋では、自重による桁変形として一般的な鉛直方向のたわみ変形に加えてねじれ変形を考慮したキャンバーにて製作される。特に曲率半径が小さく、かつ曲率が途中でR=150からR=230へと変化する本橋においては、複雑に変化するねじれキャンバーを高精度に部材製作に反映するために箱組みの断面形状を決める基準となるダイヤフラムの加工精度を高めることが重要となる。

そこで、鋼板からダイヤフラムを切断する際、正規寸法に対して3mmの切削代を考慮し、切断後に予め正規

寸法でマーキングされた差越し線を狙って、4辺を機械切削した。

この機械切削を行なうことで、通常の切断時に生じる切断誤差を排除し、設計通りのダイヤフラムを加工することが可能となり、曲線箱桁の断面精度の向上に繋がった。

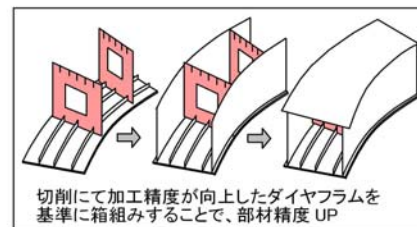
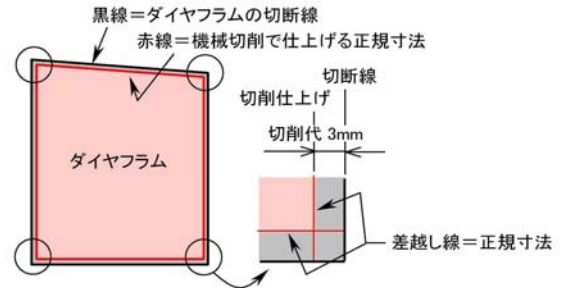


図-8 ダイヤフラムの機械切削イメージ

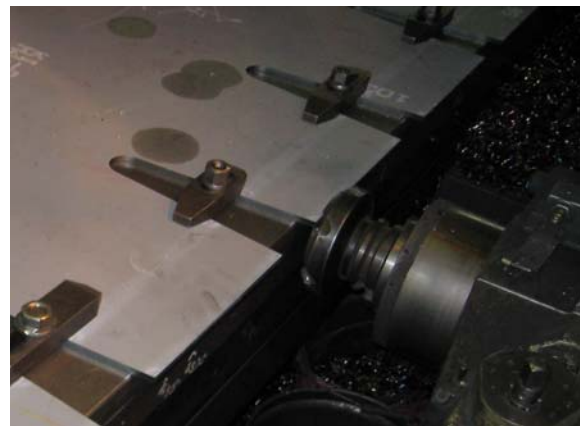


写真-1 ダイヤフラムの機械切削状況

##### (3) 架設工法の選定

本橋梁の架設地点は、函館新道と函館江差自動車道の交差する函館ICに位置し、一般交通量の非常に多い地点となっている。

主桁架設は、施工条件に適した以下の3工法を組み合わせで行なった。

- 一般部においては220tオールテレーンクレーンを使用したトラッククレーンベント工法を採用。
- 供用中のAランプ橋の直下部分に関しては、特殊油圧ジャッキを使用した横取架設工法を採用。
- 函館新道上の架設には、主桁及びブラケット・縦桁

の架設、板張防護足場組立、及び高力ボルト本締めまでの工程を全て地組立時に行ない、大ブロック化して架設する大ブロック架設工法を採用。

特に函館新道上の大ブロック架設においては、ベント設置から500tオールテレーンクレーンと220tオールテレーンクレーンによる2回の桁架設を一晩で行ない、翌朝から日中作業でセットバックした桁のセットフォア及び連結作業、その晩にベントを解体することにより、交通量の多い函館新道の片側交互通行時間を最小限に抑えた。



写真-2 トラッククレーンベント工法



写真-3 函館新道 大ブロック架設工法

#### (4) 現地施工における形状精度管理

本橋梁は、前述のとおり曲率及び縦断勾配が変化する曲線橋であり、異なる三種の架設工法を組み合わせ工事を進めていく上で、複雑な線形の出来形精度を確保することが重要となる。そのため、主桁の地組立から架設ステップ毎の桁位置を計測・確認・調整を行ないながら架設作業を進めていく必要がある。

計測作業では、架設ステップ毎の桁位置を高精度で広範囲に計測できるように、主桁の天端より高い計測やぐらを現場内に3基設置し、桁の格点位置毎に3次元計測器トータルステーションにより、桁のXYZの3次元座標位置を計測して、桁の線形を確認、調整しながら地組立、

架設作業を行った。

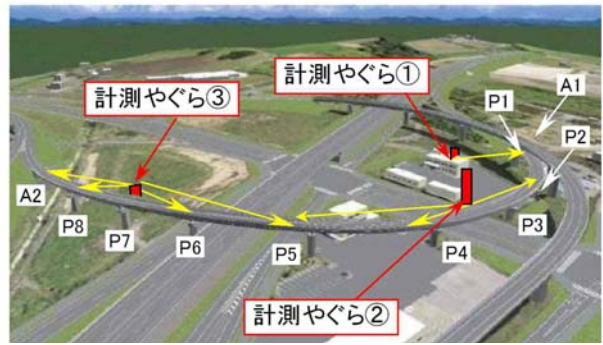


図-9 3次元計測と計測やぐら配置図



写真-4 計測やぐら



写真-5 自動追尾型トータルステーション

#### 1) 架設前の形状管理

通常、主桁の地組立は、ボルト数の1/3程度を仮ボルトとドリフトピンにより連結したうえで架設を行うが、本橋では調整の容易な地上で桁のキャンバー及び通りを調整し、全ボルト数を高力ボルトで本締めを行ってから架設を行った。これにより、架設後の調整が不能であるベントで受けられない連結部（全継ぎ手部の63%）の形状精度の向上を図った。

## 2) 架設時の形状管理

一般的に架設時の形状管理は、架設した桁本体に測量機械を設置するため、連結作業の振動による影響や温度変化による桁の変位により測定中に基準点がずれ、誤差が生じる場合がある。本橋では前述した計測やぐらにトータルステーションを設置して測定を行い、機械基準点のズレによる誤差の解消を図った。

また、自動追尾型トータルステーションを使用することにより、計測作業は一人で短時間に行うことができ、作業の効率化を図ることができた。

## 3) 架設後の修正

架設後の修正については、3次元計測の結果を基に修正の要否を判断し、必要と判断した場合は推進ジャッキ型送り台により修正を行った。

なお、桁の格点位置の設計座標値は厳密には一定ではなく、鋼桁であるがゆえに気温や直射日光の影響を受けて常時変化しており、これを正確に把握することは困難である。このため本工事では10℃、5℃、0℃の座標値を用意し、測定時の気温に近い温度の座標値を使用し、x・yの合成変位量が20mmを超えた場合、修正を行うこととした。



写真-6 推進ジャッキ型送り台による桁修正

## 5.まとめ

本橋の架設は10月の晩秋から12月の初冬にかけて行われ、温度変化に対応した品質管理を行い、これまでに述べた対応を図りながら大きなトラブルもなく無事に架設工事を終える事が出来た。

今回本橋で実施した取り組みが、今後計画されている類似工事の一助となればと考えている。

最後にこれまでの現地施工および今回の論文発表にあたりご指導ご協力頂きました、構研エンジニアリング(株)、JFEエンジニアリング(株)をはじめ、関係各位に深く感謝の意を表します。